

Rancang Bangun Inverter Multipulsa untuk Beban Penerangan Rumah Tangga Jenis Lampu Pijar

M. Zaenal Effendi ¹, Suryono ², Sudarminto S ³

¹ Dosen Jurusan Teknik Elektro Industri

² Dosen Jurusan Teknik Elektro Industri

³ Mahasiswa D4 Jurusan Teknik Elektro Industri

Politeknik Elektronika Negeri Surabaya – ITS

Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Email: sudarminto.2010@gmail.com

Abstrak

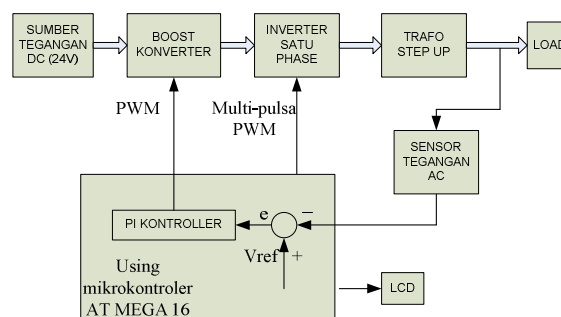
Sistem catu daya cadangan sebagai sumber alternatif tegangan untuk suplai beban rumah tangga pada proyek akhir ini dirancang agar mampu menjaga tegangan keluaran tetap konstan sesuai pada ratingnya sebesar 220V pada saat terjadi perubahan beban ataupun saat terjadi penurunan tegangan masukan (dari *accu*). Sistem catu daya cadangan ini terdiri dari baterai *accu* 24 V, boost konverter penaik tegangan DC menjadi 100V, inverter perubah tegangan DC 100V menjadi AC 70V, trafo step up 70V ke 220V serta mikrokontroler AT-mega16 sebagai pembangkit PWM boost dan inverter serta sebagai kontrol *proportional intregal* (PI). Kontrol PI ini mengatur penyulutan pada IGBT boost konverter untuk mengatur tegangan keluaran sistem. Dari pengujian system yang telah dirancang, tegangan keluaran system hanya mampu sampai 130V, hal tersebut karena drop yang cukup besar yang terjadi pada sisi trafo. Sehingga diambil nilai setpoint 125V dengan parameter controller $K_p = 0.5$ dan $K_i = 0.015$ pada beban maksimal 100W/220V

Kata Kunci : Catu daya cadangan, Boost Converter, Inverter multipulsa, Trafo Step Up, Kontrol PI

I. PENDAHULUAN

Pemadaman aliran daya listrik yang terjadi dari PT. PLN Persero (PLN) ke konsumen biasanya disebabkan oleh gangguan-gangguan pada sistem jaringan listrik sehingga sumber aliran listrik ke konsumen terputus. Untuk mengatasi terputusnya aliran listrik dari PLN khususnya pada rumah tangga maka sangat diperlukan adanya suatu peralatan yang mampu bekerja mencatu daya listrik sementara sebagai pengganti dari PLN. Pada proyek akhir ini, membuat cadangan power supply sebagai peralatan yang digunakan sebagai pengganti sumber dari PLN jika terputus atau terjadi pemadaman sementara. Cadangan power supply ini terdiri dari beberapa bagian diantaranya: Baterai *accu* sebagai sumber tegangan, boost konverter sebagai penaik tegangan Direct Current (DC), inverter sebagai pengubah tegangan DC menjadi Alternating Current (AC), trafo step up sebagai penaik tegangan AC menjadi 220 Volt.. Untuk mengatur agar tegangan keluaran dari trafo sesuai pada ratingnya maka diperlukan *Proportional Integral* (PI) kontroller berbasis mikrokontroler menggunakan ATmega16. Pengaturan tegangan keluaran dari tranformer ini dilakukan dengan mengatur tegangan keluaran dari boost konverter yang diatur melalui kontrol PI. Pengaturan ini bertujuan apabila terjadi penurunan atau kenaikan tegangan sumber maka tegangan keluaran dari sistem cadangan power supply ini tetap terjaga sesuai ratingnya 220 V. Tegangan keluaran dari trafo ini digunakan untuk mencatu beban penerangan rumah tangga, ketika sumber dari PLN sedang terputus atau terjadinya pemadaman.

II. KONFIGURASI SISTEM



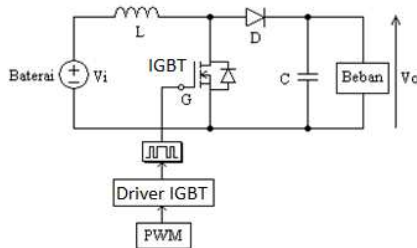
Gambar 1. Blok diagram sistem

Blok diagram diatas merupakan sistem cadangan power supply sebagai pengganti sumber tegangan saat aliran listrik dari PLN terputus/padam. Tegangan dari aki 24 Vdc dinaikkan menjadi 100 Vdc melalui boost konverter. Kemudian dikonversi menjadi tegangan AC sebesar 70 Vac. Tegangan keluaran dari inverter dinaikkan menjadi 220 Vac oleh trafo step up, kemudian digunakan untuk mensuplai beban penerangan rumah tangga. Untuk mengatur tegangan keluaran sistem tetap konstan maka diperlukan pengaturan dengan metode kontrol PI yang digunakan untuk mengatur besarnya penyulutan pada IGBT pada boost konverter. Kontrol PI ini dibuat dari mikrokontroler AT MEGA 16 dengan bahasa pemrograman Visual C++. Liquid crystal display (LCD) digunakan untuk menampilkan besarnya tegangan dan PWM yang telah terukur dari sensor.

Berdasarkan gambar 1 perencanaan dan pembuatan perangkat keras pada proyek akhir ini meliputi:

1. Perencanaan dan pembuatan rangkaian Boost Converter
2. Perencanaan dan pembuatan rangkaian Inverter
3. Perencanaan dan pembuatan trafo step up

II.1 Perencanaan dan pembuatan rangkaian Boost Converter



Gambar 2. Rangkaian Boost Konverter

Pada Gambar 2 merupakan rangkaian boost converter dengan PWM untuk menyulut IGBT boost converter. PWM untuk penyulut Boost Converter dibangkitkan oleh rangkaian mikrokontroler ATmega 16. Boost converter memperoleh masukan dari baterai aki 24 Vdc dan didesain untuk menghasilkan tegangan keluaran sebesar 100 Volt. Berikut ini parameter-parameter perencanaan boost konverter:

- Tegangan Input (V_{in}) = 24 V
- Tegangan Output (V_o) = 100 V
- Arus Output (I_o) = 5A
- $f = 40 \text{ kHz}$

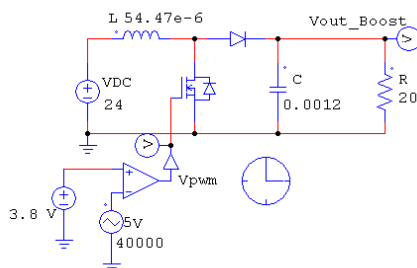
Dari persamaan berikut:

$$L = \frac{1}{f} * (V_{out} + V_f - V_{in}) * \left(\frac{V_{in}}{V_{out} + V_f} \right) * \left(\frac{1}{\Delta I_L} \right)$$

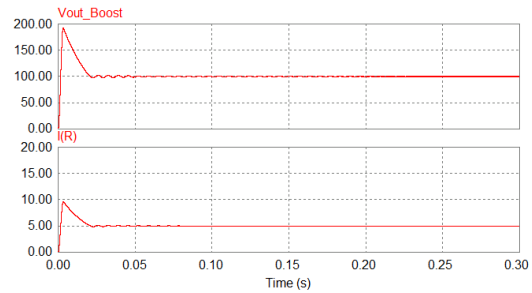
$$C_{out} = \frac{\Delta Q}{\Delta V_o} = \frac{I_{C.rms} * D * T}{\Delta V_o}$$

Maka diperoleh nilai $L=54,47 \mu\text{H}$ dan $C= 535,38 \mu\text{F}$.

Dengan menggunakan simulasi PSIM yang ditunjukkan gambar 3 diperoleh bentuk gelombang keluaran boost converter seperti yang ditunjukkan pada gambar 4:



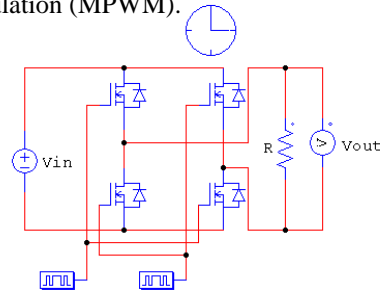
Gambar 3. Simulasi Boost Konverter dengan PSIM



Gambar 4. Tegangan dan arus keluaran Boost Converter

II.2 Perencanaan dan pembuatan rangkaian Inverter

Rangkaian inverter ini digunakan untuk merubah tegangan DC sebesar 100 V keluaran dari boost konverter menjadi tegangan AC sebesar 70 V . Komponen semikonduktor yang digunakan adalah IGBT. Gambar 5. menunjukkan gambar rangkaian inverter. Besarnya tegangan yang keluaran inverter bergantung pada sudut penyulutan dari base IGBT. Pengaturan rangkaian trigger ini dilakukan dengan Multiple Pulse Width Modulation (MPWM).



Gambar 5. Rangkaian Inverter full bridge satu phase

Parameter multipulsa inverter :

$V_{in} = 100 \text{ V}$

$V_{out} = 70 \text{ V}$

$f_o = 50 \text{ Hz}$

Jumlah pulsa setengah periode (p) = 10

Menentukan frekuensi carrier (f_c) :

$$p = \frac{f_c}{2f_o}$$

$$f_c = 2 \times p \times f_o$$

$$f_c = 2 \times 10 \times 50 = 1000 \text{ Hz}$$

Menentukan lebar pulsa (δ) :

$$V_o = \left[\frac{2p}{2\pi} \int_{(\pi/p-\delta)/2}^{(\pi/p+\delta)/2} V_s^2 d(\omega t) \right]^{1/2} = V_s \sqrt{\frac{p\delta}{\pi}}$$

Sehingga,

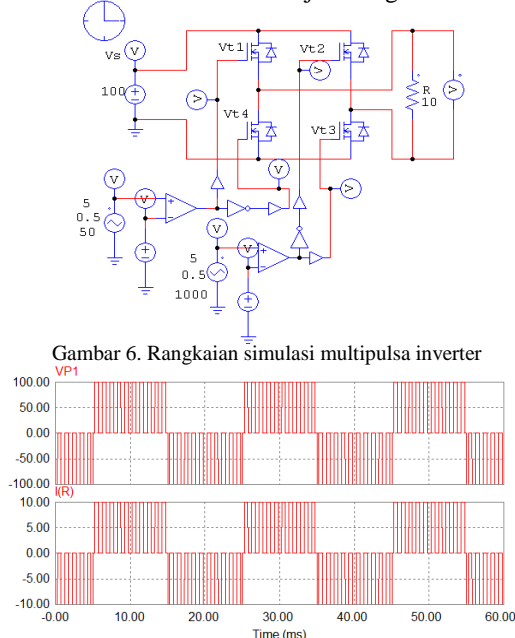
$$\delta = \left(\frac{V_o}{V_s} \right)^2 \times \frac{\pi}{p}$$

$$\delta = \left(\frac{70}{100} \right)^2 \times \frac{\pi}{10}$$

$$\delta = 0,049\pi$$

$$\delta = 8.82^\circ$$

Dari parameter-parameter diatas maka melalui PSIM rangkaian inverter dapat disimulasikan. Bentuk rangkai inverter ditunjukkan gambar 6 sedangkan bentuk gelombang tegangan dan arus keluaran inverter ditunjukkan gambar 7:



Gambar 7. Tegangan Multipulsa Inverter

II.3 Perencanaan dan pembuatan Trafo Step Up

Trafo step up ini digunakan sebagai penaik tegangan keluaran inverter sehingga diperoleh tegangan keluaran akhir sebesar 220 Volt. Dalam mendesain trafo step up, yang perlu diperhatikan adalah besarnya daya trafo beserta efisiensinya. Dari parameter-parameter berikut ini, maka desain trafo step up dari proyek akhir ini adalah sebagai berikut:

$$P_{out} = 450 \text{ W.}$$

$$V_{out} = 220 \text{ V.}$$

$$V_{in} = 70 \text{ V.}$$

$$I_{out} = P_{out}/V_{out}$$

$$= 450/220$$

$$= 2,05 \text{ A.}$$

$$P_{in} = 1,25 * P_{out} \text{ =====> (Efisiensi=80%).}$$

$$= 1,25 * 450$$

$$= 562,5 \text{ W.}$$

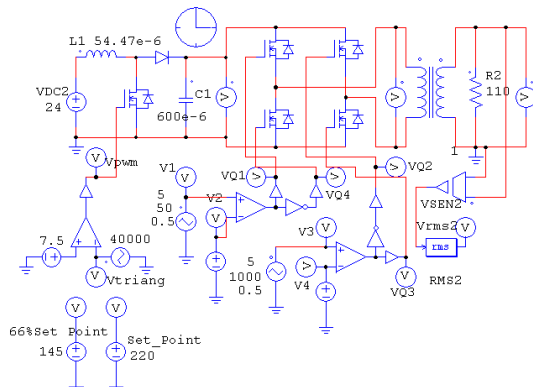
$$I_{in} = P_{in}/V_{in}$$

$$= 562,5/70$$

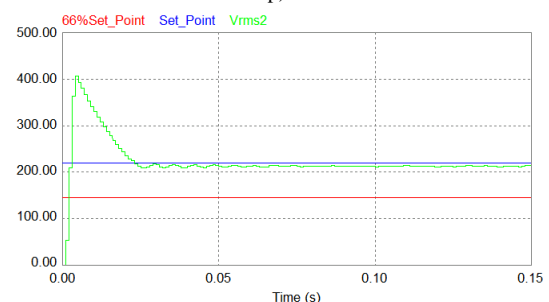
$$= 8,03 \text{ A.}$$

II.4 Perencanaan Kontrol PI

Dalam menentukan besarnya nilai Kp dan Ki untuk kontrol PI, pada proyek akhir ini digunakan penalaan kontrol PI dengan metode kurva reaksi Ziegler Nichols. Kurva reaksi ini dapat dihasilkan dari simulasi system pada PSIM. Gambar 8. menunjukkan simulasi system dalam kondisi open dan Gambar 9. menunjukkan kurva reaksi dari system sehingga dapat dicari besarnya nilai Kp, dan Ki.



Gambar 8. mulasi System keseluruhan dengan PSIM (open loop)



Gambar 9. Bentuk Kurva Reaksi System

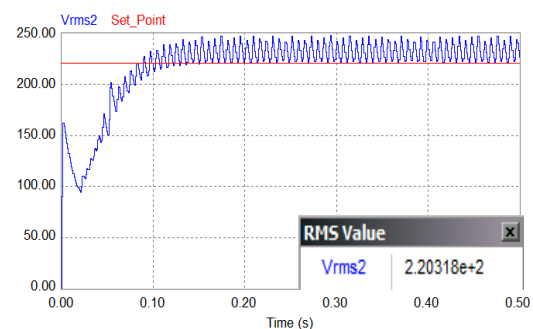
Gambar 9 menunjukkan bentuk kurva reaksi yang disimulasikan dengan PSIM. Untuk menentukan besarnya nilai Kp dan Ki maka dihitung nilai T dan L berdasarkan grafik kurva reaksi dimana nilai T merupakan nilai kurva reaksi dihitung dari nilai awal sampai ke 66% dari keadaan mantabnya (keadaan steady state). Dari kurva diatas maka dapat diketahui nilai L = 1ms dan T + L = 2 ms. Dengan begitu maka nilai Kp dan Ki berdasarkan rumus penalaan tuning PID metode Ziegler Nichols adalah sebagai berikut:

$$\Rightarrow K_p = 0.9 T / L$$

$$\Rightarrow K_p = 0.9$$

$$\Rightarrow K_i = L / 0.3$$

$$\Rightarrow K_i = 3.33 \times 10^{-3} \text{ s}$$



Gambar 10. Bentuk kurva reaksi system close loop dengan Kp=0.5, Ki=0.015s, Vin=24V, Vout Rms=220,32V

Gambar 10 menunjukkan kurva reaksi system setelah nilai Kp, Ki detuning sampai diperoleh bentuk yang baik dengan nilai Kp=0.5 serta Ki=0.015s.

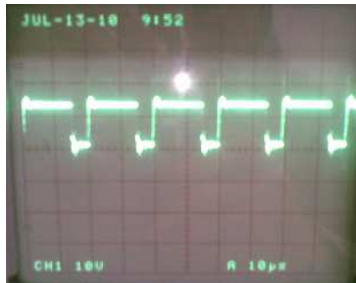
III. PENGUJIAN DAN ANALISA

Pada bagian ini dibahas tentang pengujian terhadap sistem yang dibangun disertai dengan analisa. Pengujian sistem menyangkut beberapa hal sebagai berikut:

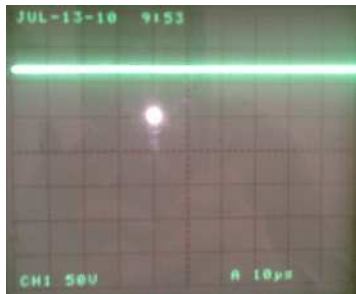
1. Pengujian boost converter
2. Pengujian inverter multipulse satu phase
3. Pengujian trafo step up

III.1 Pengujian Boost Konverter

Pengujian boost converter dilakukan dengan supply tegangan dari aki 24V 60 AH dengan menggunakan beban lampu pijar 100W-400W/220V. Gambar 10. menunjukkan bentuk gelombang penyulutan boost converter pada sisi base-emitter IGBT dengan besar dutycycle sebesar 76% dan bentuk gelombang tegangan keluaran dari boost converter sebesar 93.20V pada saat dibebani lampu pijar 400W/220V seperti ditunjukkan gambar 11:



Gambar 10. Bentuk gelombang penyulutan pada sisi base emitter IGBT



Gambar 11. gelombang tegangan keluaran boost converter

III.2 Pengujian Inverter Multipulse satu phase

Pengujian inverter ini menggunakan power supply 60V 10A dengan beban lampu pijar 100W/220V. Gambar 12 menunjukkan bentuk gelombang tegangan keluaran inverter multipulsa satu phase sedangkan Tabel 1 menunjukkan hasil pengujian inverter multipulsa :



Gambar 12 Bentuk gelombang keluaran inverter multipulsa satu phase

Tabel 1 Data pengujian inverter multipulsa

No.	Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Pin (W)	Pout (W)	Efisiensi (%)
1	20.00	0.07	12.56	0.08	1.40	1.00	71.77
2	30.00	0.09	19.24	0.10	2.70	1.92	71.26
3	40.00	0.10	26.74	0.11	4.00	2.94	73.54
4	50.00	0.11	33.66	0.12	5.50	4.04	73.44
5	60.00	0.11	40.63	0.13	6.60	5.28	80.03

III.3 Pengujian Trafo Step Up

Pengujian trafo step up ini dilakukan untuk mengetahui besarnya efisiensi dari trafo step up yang telah dirancang. Variac digunakan sebagai tegangan input trafo dengan beban resistif load. Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian dari trafo step up:

Tabel 2 Hasil pengujian trafo step up 70V ke 220V

Vin (V)	Iin (A)	Vout (V)	Iout (A)	Pin (VA)	Pout (VA)	Efisiensi (%)
70	3	215	0.75	210	161.25	76.78
70	5	210	1.45	350	304.5	87
70	6.75	200	2	472.5	400	84.65

Berdasarkan tabel 2 diatas maka dapat diketahui besarnya efisiensi trafo dengan menggunakan beban resistif dan sumber tegangan sinusoidal rata-rata 82.81%.

III.4 Pengujian Sistem secara Open Loop

Pada pengujian integrasi system ini, semua bagian dari blok-blok diagram yang telah diuji digabungkan menjadi satu yang meliputi aki, boost converter, inverter serta trafo pulsa. Beban yang digunakan menggunakan lampu 100W/220V. Tabel 3. menunjukkan hasil pengujian integrasi system.

Tabel 3 Hasil pengujian integrasi system secara terbuka(praktek)

No.	Duty Cycle (%)	Vin Accu (V)	Iin (A)	Vout Boost (V)	Vout Inverter (V)	Vout Trafo (V)	Iout Trafo (A)
1	50	24.22	1.93	48.60	31.50	96.70	0.21
2	55	23.70	2.32	53.00	35.10	107.90	0.23
3	60	23.00	5.02	56.60	32.50	99.30	0.23
4	65	22.10	6.91	62.90	36.00	111.00	0.25
5	70	21.10	10.38	69.30	39.00	119.00	0.25
6	75	21.80	15.90	73.00	42.50	130.00	0.27

Tabel 4. Data integrasi system secara terbuka(perhitungan teori)

No	Duty Cycle (%)	Vin Accu (V)	Vout Boost (V)	Vout Inverter (V)	Vout Trafo (V)
1	50	24.22	48.44	33.87	106.35
2	55	23.70	52.67	36.83	115.65
3	60	23.00	57.50	40.21	126.26
4	65	22.10	63.14	44.15	138.63
5	70	21.10	70.33	49.18	154.43
6	75	21.80	87.20	60.98	191.47

Tabel5. Prosentase error (%) data praktek terhadap teori

No.	DutyCycle (%)	Error(%) Boost	Error(%) Inverter	Error (%) Trafo
1	50	0.33	7.00	9.07
2	55	0.63	4.70	6.70
3	60	1.57	19.17	21.35
4	65	0.38	18.46	19.93
5	70	1.46	20.70	22.94
6	75	16.28	30.31	32.10

Berdasarkan Tabel 3, Tabel 4 serta Tabel 5 sistem hanya dapat bekerja sampai batas pengujian tegangan output 130 Volt (lihat Tabel 3). Hal ini dikarenakan terjadinya prosentase error yang cukup besar sampai 32.10% (lihat Tabel 5). Berdasar perhitungan secara teori seharusnya tegangan output trafo 191.47 Volt (lihat Tabel 4). Prosentase error besar terjadi karena desain transformer yang kurang baik (terlihat dari bunyi trafo saat pengujian).

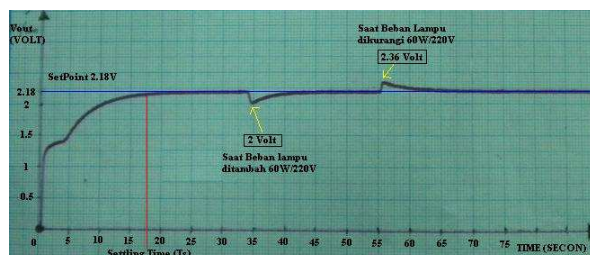
III.5 Pengujian Sistem secara Close Loop

Pada pengujian integrasi system secara tertutup ini, semua bagian dari blok-blok diagram yang telah diuji digabungkan menjadi satu yang meliputi aki, boost converter, inverter, trafo step up, serta control PI . Tabel 4.6 menunjukkan hasil pengujian integrasi system secara tertutup.

Tabel 4.6 Hasil pengujian integrasi system secara tertutup

No.	Duty Cycle (%)	Vin Accu (V)	Iin Accu (A)	Vout Trafo (V)	Iout Trafo (A)	Beban Lampu
1	49	24.40	1.41	125.70	0.09	40W/220V
2	61	24.23	2.72	125.40	0.25	100W/220V

Berdasarkan Tabel 4.5 setpoint keluaran trafo diset nilainya 125 V. hal tersebut karena diatas tegangan keluaran 140 Volt trafo tidak sanggup menaikkan tegangan. Sehingga diambil nilai 125Volt sebagai setpoint sistem. Saat system dilengkapi dengan control PI maka saat terjadi perubahan beban, tegangan keluaran akan tetap terjaga konstan (Lihat Gambar 13).



Gambar 13 Bentuk kurva reaksi system close loop saat terjadi perubahan beban

Gambar 13 merupakan bentuk kurva reaksi system secara close loop dengan beban lampu yang berubah-ubah yang diambil melalui X-Y recorder.. Tegangan pada saat kondisi steady state sebesar 2.18Volt DC (output sensor dari tegangan keluaran system yang senilai 125Volt AC). Dengan setpoint 125V beban awal 40W/220V diperoleh settling time 18 secon dengan kondisi kurva *overdamped*.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan data-data yang diperoleh dari semua pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan :

1. Keluaran tegangan dari system tidak bisa mencapai seperti yang diharapkan 220 V, keluaran tegangan maksimal system hanya 130V dikarenakan drop tegangan pada sisi trafo.
2. Kontrol PI dapat bekerja mengatur tegangan keluaran konstan pada nilai 125 V dengan nilai $K_p=0.5$ dan $K_i=0.015s$. settling time 18 *second* dengan beban lampu pijar 40W/220V hingga 100W/220V.
3. Perubahan beban mempengaruhi tegangan output dari system, dimana pada saat beban lampu ditambah 60W/220V maka tegangan output turun menjadi 114.6V dan dengan control PI maka tegangan output kembali lagi ke kondisi *steady state* 125 V dalam waktu 7 *second*. Sedangkan saat beban lampu dikurangi 60W/220V tegangan output naik menjadi 136.32V dan dengan control PI maka tegangan output kembali ke kondisi *steady state* 125 V dalam waktu 6 *second*.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Muhammad H. Rhasid, "POWER ELECTRONICS : CIRCUITS, DEVICE, AND APPLICATIONS, 2ND ED.", PT Prenhallindo, Jakarta, 1999
- [2] K. Bose, Bimal, *modern power electronics and AC drives*, Prentice-Hall International, Inc, 2002
- [3] Mahesh A. Patel¹, Ankit R. Patel², Dhaval R. Vyas³ dan Ketul M. Patel³, *Use of PWM techniques for Power Quality Improvement*, L.C. Institute of Technology, Bhandu, Mahesana, Gujarat, India.
- [4] Afif, Salakhudin, *Rancang Bangun Inverter Satu Fase Sebagai Daya Cadangan Rumah Tangga*, Tugas Akhir, Teknik Elektro Industri, PENS-ITS, 2007.
- [5] Hisbullah, Umar, *Rancang Bangun pengubah DC ke AC (Inverter) Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA)*, Tugas Akhir, Teknik Elektro Industri, PENS-ITS, 2007.
- [6] Bramasto, Jerry, *pengaturan kecepatan motor induksi satu fasa dengan menggunakan kontrol PI-Fuzzy untuk beban pembersih kecambah (pembuatan inverter 1 fasa)*, Proyek Akhir, Teknik Elektro Industri, PENS-ITS, 2007.